

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of:

YOUNG-DOO KIM, ET AL.

Application No.:

Filed:

For: **APPARATUS AND METHOD FOR  
ADAPTIVELY MODULATING SIGNAL  
BY USING LAYERED TIME-SPACE  
DETECTOR USED IN MIMO SYSTEM**

Art Group:

Examiner:

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

**REQUEST FOR PRIORITY**

Sir:

Applicant respectfully requests a convention priority for the above-captioned application, namely:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>DATE OF FILING</u>
Korea	10-2002-0084478	26 December 2002

☒ A certified copy of the document is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Blakely, Sokoloff, Taylor & Zafman LLP

Dated: 12/13/02

12400 Wilshire Boulevard, 7th Floor  
Los Angeles, CA 90025  
Telephone: (310) 207-3800

Eric S. Hyman  
Eric S. Hyman, Reg. No. 30,139



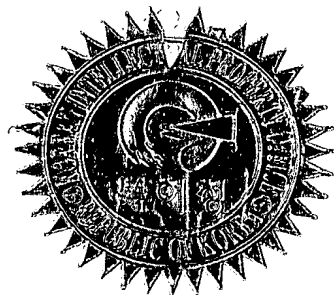
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원번호 : 10-2002-0084478  
Application Number

출원년월일 : 2002년 12월 26일  
Date of Application DEC 26, 2002

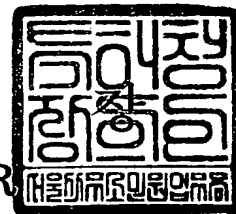
출원인 : 한국전자통신연구원  
Applicant(s) Electronics and Telecommunications Research Insti



2003 년 10 월 27 일

특 허 청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0010
【제출일자】	2002. 12. 26
【발명의 명칭】	층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치 및 그 방법
【발명의 영문명칭】	Adaptive Modulation Method for MIMO System using Layered Time-Space detector
【출원인】	
【명칭】	한국전자통신연구원
【출원인코드】	3-1998-007763-8
【대리인】	
【명칭】	특허법인 신성
【대리인코드】	9-2000-100004-8
【지정된변리사】	변리사 정지원, 변리사 원석희, 변리사 박해천
【포괄위임등록번호】	2000-051975-8
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김영두
【성명의 영문표기】	KIM, Young Doo
【주민등록번호】	760721-1011112
【우편번호】	137-040
【주소】	서울특별시 서초구 반포동 901 반포아파트 108-501
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김인형
【성명의 영문표기】	KIM, In Hyung
【주민등록번호】	731206-1030326
【우편번호】	302-120
【주소】	대전광역시 서구 둔산동 영진햇님아파트 5-301
【국적】	KR

## 【발명자】

【성명의 국문표기】 유희정  
【성명의 영문표기】 YU, Hee Jung  
【주민등록번호】 760715-1953436  
【우편번호】 305-345  
【주소】 대전광역시 유성구 신성동 162-4 201호  
【국적】 KR

## 【발명자】

【성명의 국문표기】 최지훈  
【성명의 영문표기】 CHOI, Ji Hoon  
【주민등록번호】 750327-1114215  
【우편번호】 635-900  
【주소】 경상남도 창원군 남지읍 학계리 600-7  
【국적】 KR

## 【발명자】

【성명의 국문표기】 전태현  
【성명의 영문표기】 JEON, Tae Hyun  
【주민등록번호】 670131-1057424  
【우편번호】 157-222  
【주소】 서울특별시 강서구 방화2동 536-12  
【국적】 KR

## 【발명자】

【성명의 국문표기】 안재영  
【성명의 영문표기】 AHN, Jae Young  
【주민등록번호】 610224-1558114  
【우편번호】 305-762  
【주소】 대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 105-806  
【국적】 KR

## 【발명자】

【성명의 국문표기】 이용훈  
【성명의 영문표기】 LEE, Yong Hoon  
【주민등록번호】 550712-1068328

**【우편번호】** 305-333  
**【주소】** 대전광역시 유성구 어은동 99번지 한빛아파트 122-1301  
**【국적】** KR  
**【심사청구】** 청구  
**【취지】** 특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인  
 특허법인 신성 (인)  
**【수수료】**  
**【기본출원료】** 20 면 29,000 원  
**【가산출원료】** 25 면 25,000 원  
**【우선권주장료】** 0 건 0 원  
**【심사청구료】** 20 항 749,000 원  
**【합계】** 803,000 원  
**【감면사유】** 정부출연연구기관  
**【감면후 수수료】** 401,500 원  
**【기술이전】**  
**【기술양도】** 희망  
**【실시권 허여】** 희망  
**【기술지도】** 희망  
**【첨부서류】** 1. 요약서·명세서(도면)\_1통

**【요약서】****【요약】****1. 청구범위에 기재된 발명이 속한 기술분야**

본 발명은, 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치 및 그 방법과, 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체에 관한 것임.

**2. 발명이 해결하려고 하는 기술적 과제**

본 발명은, 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서 기존의 V-BLAST 검파 방법의 역순으로 등가 채널 이득을 결정하고, 결정된 등가 채널 이득을 사용하여 그리디 알고리즘을 통해 각 안테나를 통해 전송될 비트 수와 송신 전력을 결정함으로써 시스템 성능을 향상시키기 위한 적응 변복조 장치 및 그 방법과, 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 기록매체를 제공하고자 함.

**3. 발명의 해결방법의 요지**

본 발명은, 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변조 장치에 있어서, 수신단으로부터 피드백된 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산수단; 및 상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보를 이용해 각 계층(송신안테나)별로 다른 변조 방법으로 변조하고 송신전력을 조절하여, 적응 변조된 신호를 각 송신안테나를 통해 전송하는 적응 변조수단을 포함함.

#### 4. 발명의 중요한 용도

본 발명은 다중 입출력(MIMO) 시스템 등에 이용됨.

#### 【대표도】

도 3

#### 【색인어】

다중 입출력(MIMO), 적응 변조, 층적 공간-시간 구조, V-BLAST, 그리디 알고리즘, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM)

**【명세서】****【발명의 명칭】**

층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치 및 그 방법{Adaptive Modulation Method for MIMO System using Layered Time-Space detector}

**【도면의 간단한 설명】**

도 1 은 일반적인 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템의 구성도.

도 2 는 본 발명에 이용되는 층적 공간-시간 구조에서 널링 순서에 따라 등가 채널 이득이 변하는 것을 나타낸 일실시에 설명도.

도 3 은 본 발명에 따른 적응 변복조 방법 중 V-BLAST 역순으로 등가 채널 이득을 결정하는 과정에 대한 일실시에 상세 흐름도.

도 4 는 본 발명에 따른 적응 변복조 방법 중 그리디 알고리즘에 따라 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나에 대한 전송 비트 수와 송신 전력을 결정하는 과정에 대한 일실시에 상세 흐름도.

도 5 는 본 발명에 따른 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 장치를 나타낸 일실시에 구성도.

도 6 은 본 발명의 실시예에 따라 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 방식의 성능을 나타낸 설명도.



도 7 은 본 발명에 따른 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 장치를 나타낸 일실시에 구성도.

도 8 은 본 발명에 실시예에 따라 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 방식의 성능을 나타낸 설명도.

\* 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명

11,51,71 : 송신할 데이터

12,52,72 : 총적 공간-시간 구조에 기반한 적응 변조부

13A~13M, 53A~53M, 76A~76M : 송신안테나

14,55,77 : 주파수 비선택적 페이딩 다중 입출력 채널

15A~15M, 56A~56M, 78A~78M : 수신안테나

16,57,81 : 총적 공간-시간 구조에 기반한 적응 복조부

54,73 : 비트 및 전력할당 정보 계산부    58, 82 : 다중 입출력 채널 추정부

74 : 역푸리에 변환기

75, 79 : 순환전치 부가장치

84 : 복조된 데이터

## 【발명의 상세한 설명】

## 【발명의 목적】

## 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <19> 본 발명은 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO : Multi-Input Multi-Output) 시스템에 적용되는 적응 변복조(Adaptive Modulation/Demodulation) 장치 및 그 방법에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time) 검파 방법의 역순으로 등가 채널 이득을 결정하고, 결정된 등가 채널 이득을 이용하여 그리디 알고리즘을 수행함으로써, 각 안테나를 통해 전송될 비트 수와 송신 전력을 결정하는 것이다.
- <20> 일반적으로, 다중 입출력(MIMO) 시스템은 동일한 대역폭에서 여러 개의 송신안테나로부터 각각 다른 데이터를 전송하기 때문에 높은 주파수 효율을 얻을 수 있는 무선통신 시스템이다. 이와 같은 MIMO 시스템을 위한 기술로는, 포시니(G. J. Foschini)가 "Layered Space-Time Architecture for Wireless Communication in a Fading Environment When using Multi-Element Antennas," Bell Labs Technical Journal, 가을, 1996, pp. 41~59 에서 제안한 구조가 있고, 월니안스키(P. W. Wolniansky) 등이 "V-Blast : An Architecture for Realizing Very High Data Rates Over the Rich-Scattering Wireless Channel." Proc. International Symposium Signals, Systems and Electronics에서 1998년 9월에 제안한 구조가 있다.
- <21> 일반적으로, 전자를 D-BLAST(Diagonal-Bell Laboratories Space Time) 시스템이라고 하고, 후자를 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time) 시스템이라고 한다. V-BLAST는 D-BLAST의 구조를 간단하게 변형한 구조로 되어 있다.

<22>       상기 V-BLAST 시스템의 검파 과정을 살펴보면, 우선 MIMO 채널행렬(H)을 보고 등가 채널 이득(Equivalent Channel Gain)이 가장 큰 계층에 해당하는 심벌(symbol)을 우선 복원하고, 채널행렬(H)에서 이 심벌에 해당하는 영향을 제거한 후 현재 복원한 계층에 해당하는 채널을 널링(Nulling)하여 새로운 채널행렬을 만든다. 그리고, 모든 심벌을 복원할 때까지 이와 같은 과정을 반복한다. 이렇게 하여, 등가 채널 이득이 가장 큰 계층을 복원하고, 다음 심벌을 복원할 때에는 처음 복원된 심벌은 간섭으로 간주하여 그 심벌의 효과를 제거하고 난 후에 그 다음으로 등가 채널 이득이 큰 계층을 복원하기 때문에 다음 심벌을 복원할 때는 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 전체적으로 성능이 향상되는 장점이 있다.

<23>       한편, 포시니(G. J. Foschini)의 US 6,317,466 B1 "Wireless Communications System Having A Space-Time Architecture Employing Multi-Element antennas At Both The Transmitter and Receiver"에서도 V-BLAST의 구조를 설명하고, 적응 변조 방법을 제안하고 있으나, 여기서는 안테나 수에 따라서 모든 안테나에서 같이 사용하는 변조 방법을 바꾸거나 전송 전력을 최소화하는 방법을 제시하고 있을 뿐이다.

<24>       또한, 다중 반송파 시스템에서 비트 수와 전력을 할당하는 방법인 그리디(Greedy) 알고리즘은 웡(C. Y. Wong) 등이 "Multiuser OFDM with adaptive sub-carrier, bit and power allocation," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, Oct., 1999, pp. 1747~1758. 논문에서 소개하고 있다. 그리디 알고리즘은 단일 사용자 직교 주파수 분할 다중화(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방법을 사용하는 경우, 송신단에서 각 부반송파에 해당하는 주파수 영역 채널 응답을 알고 있으며, 한 OFDM 심벌에서 전송하고자 하는 전체 비트 수가 정해져 있고, 원하는 비트 오류 확률이 있을 경우, 최소의 송신 전력

을 가지고, 원하는 비트 오류 확률을 만족하면서 주어진 정보 비트를 모두 전송할 수 있도록 하는 각 부반송파의 비트 수(변조 방법)와 전력을 구하는 알고리즘이다.

<25> MIMO OFDM 시스템에 적응 변조 방법을 적용한 예로 다음과 같은 두 가지 방법이 있다. 하나는 카-와이(Ka-Wai Ng) 등이 제안한 "A Simplified Bit Allocation for V-BLAST based OFDM MIMO Systems in Frequency Selective Fading Channels," IEEE International Conference on Communications, 2002, pp. 411~415 이고, 다른 하나는 같은 저자가 "Iterative Bit & Power Allocation for V-BLAST based OFDM MIMO System in Frequency Selective Fading Channel," Proc. Wireless Communications and Networking Conference, 2002, pp. 271~275 에서 제안한 방법이다.

<26> 전자의 방법은, V-BLAST의 순서 할당 방법대로 등가 채널 이득이 좋은 순서로 등가 채널 이득을 계산하고, 이 이득을 가지고 그리디 알고리즘에 따라 비트 수를 결정하는 방법이다. 또한, 이를 간단히하고 송신단으로 전송되는 정보량을 줄이기 위해서, 부반송파와 송신안테나를 선택하는 형태를 제안하고 있다. 그러나, 이와 같이 기존의 V-BLAST 순서를 갖는 접근 방법은 적응 변조가 아닌 고정된 변조 방법을 사용할 때에는 모든 계층에 대하여 전체적으로 동일한 성능을 얻도록 할 수 있지만, 적응 변조에서는 오히려 성능이 저하된다는 문제점이 있었다.

<27> 한편, 후자의 방법은 상기와 같이 V-BLAST 순서를 이용한 적응 변조의 문제점을 고려하여, 최적의 해를 찾기 위해 순서 결정이 가능한 모든 조합에 대하여 일정수의 비트를 할당하고, 이때 전체 송신 전력이 최소인 순서를 선택하는 방법을 제안하고 있다. 그러나, 이



경우에도 최적의 해를 찾기 위한 조합의 수를 줄임으로 인해서 성능이 저하되는 문제점이 있었다.

#### 【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<28> 본 발명은, 상기 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서 기존의 V-BLAST 검파 방법의 역순으로 등가 채널 이득을 결정하고, 결정된 등가 채널 이득을 사용하여 그리디 알고리즘을 통해 각 안테나를 통해 전송될 비트 수와 송신 전력을 결정함으로써 시스템 성능을 향상시키기 위한 적응 변복조 장치 및 그 방법과, 상기 방법을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 기록매체를 제공하는데 그 목적이 있다.

#### 【발명의 구성 및 작용】

<29> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변조 장치에 있어서, 수신단으로부터 피드백된 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산수단; 및 상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보를 이용해 각 계층(송신안테나)별로 다른 변조 방법으로 변조하고 송신 전력을 조절하여, 적응 변조된 신호를 각 송신안테나를 통해 전송하는 적응 변조수단을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<30> 그리고, 본 발명은 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 복조 장치에 있어서, 각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 MIMO 채널을 추정하기 위한 MIMO 채널 추정수단; 상기 MIMO 채널 추정수단에서의 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산수단; 및 상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보와 상기 MIMO 채널 정보를 바탕으로, 각 계층(수신안테나)별로 수신되는 신호의 수신전력을 조절하여 서로 다른 복조 방법으로 복조하기 위한 적응 변조수단을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<31> 또한, 본 발명은 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변복조 장치에 있어서, V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용해 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정한 후, 적응 변조하여 송신하기 위한 적응 변조수단; 및 각 수신안테나를 통해 수신되는 신호를 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 검파 및 적응 복조하기 위한 적응 복조수단을 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

<32> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명은, 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변조 방법에 있어서, 수신단으로부터 피드백된 정보를 바탕으로, 송신단에서 V-BLAST 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 1 단계; 및 상기 송신단에서 상기 등가 채널 이득을 가지고 그리디 알고리즘의 부반송파 채널 이득을 대신하는 값으로 이용하여, 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트의 수와 이에 해당하는 송신전력을 결정해 적응 변조하는 제 2 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.

- <33> 그리고, 본 발명은 송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 복조 방법에 있어서, 각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 채널을 추정하는 제 1 단계; 상기 채널 정보를 바탕으로, V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 2 단계; 및 상기 등가 채널 이득을 이용해 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하여, 검파 및 적응 복조하는 제 3 단계를 포함하여 이루어진 것을 특징으로 한다.
- <34> 한편, 본 발명은 적응 변조를 위하여, 프로세서를 구비한 다중 입출력(MIMO) 시스템에, 수신단으로부터 피드백된 정보를 바탕으로, 송신단에서 V-BLAST 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 1 기능; 및 상기 송신단에서 상기 등가 채널 이득을 가지고 그리디 알고리즘의 부분 송파 채널 이득을 대신하는 값으로 이용하여, 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트의 수와 이에 해당하는 송신전력을 결정해 적응 변조하는 제 2 기능을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- <35> 그리고, 본 발명은 적응 복조를 위하여, 프로세서를 구비한 다중 입출력(MIMO) 시스템에, 각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 채널을 추정하는 제 1 기능; 상기 채널 정보를 바탕으로, V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 2 기능; 및 상기 등가 채널 이득을 이용해 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하여, 검파 및 적응 복조하는 제 3 기능을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체를 제공한다.
- <36> 상술한 목적, 특징들 및 장점은 첨부된 도면과 관련한 다음의 상세한 설명을 통하여 보다 분명해 질 것이다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 일실시예를 상세히 설명한다.

<37> 이해를 돕기 위하여, 본 발명의 적응 변복조 방법에 사용될 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)에 대하여 살펴보기로 한다.

<38> 그리디 알고리즘을 상세히 설명하기 위하여, 직교 주파수 분할 다중화(OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방법으로 예를 들어 설명하기로 한다.

<39> 먼저, n번째 부반송파에 대한 송신 전력  $P_n$ 은 하기의 [수학식 1]과 같이 주어진다.

<40>

$$P_n = \frac{f(c_n)}{|h_n|^2}$$

【수학식 1】

<41> 상기 [수학식 1]에서  $h_n$ 은 n번째 부반송파의 채널 이득이고,  $c_n$ 은 n번째 부반송파에 전송될 비트 수,  $f(c)$ 는 c개의 비트(bit)를 원하는 비트 오류 확률(BER : Bit Error Rate)로 수신할 수 있도록 하는 수신 에너지를 각각 나타낸다.

<42> 한편, 우리가 하나의 OFDM 심벌에서 전송하고자 하는 전체 비트 수를 R이라고 할 때, 전체 부반송파의 송신 전력의 합  $P_t$ 를 최소로 하는 비트 할당 방법은 하기의 [수학식 2]에 제시된 최적화 문제로 나타낼 수 있다.

<43>

$$P_t = \min_{c_n \in D} \sum_{n=1}^{N_c} \frac{1}{|h_n|^2} f(c_n)$$

【수학식 2】

제약조건 :  $R = \sum_{n=1}^{N_c} c_n$

<44> 상기 [수학식 2]에서,  $N_c$ 는 전체 부반송파의 개수이며, D는 임의로 선택할 수 비트 수의 조합으로 가능한 변복조 방법을 나타낸다. 예를 들어, 우리가 선택할 수 있는 변복조 방법이



QPSK, 16-QAM, 64-QAM 등이라고 하면,  $D=\{0, 2, 4, 6, 8, \dots\}$ 이 된다. 여기서, 0은 그 부반송파를 통해서 정보를 전송하지 않는다는 것을 의미한다.

<45> 상기 [수학식 2]를 푸는 방법이 그리디 알고리즘으로서, 다음의 단계를 거치게 된다.

<46> 단계 1 : 모든 부반송파에 대하여,  $c_n=0$ ,  $xP_n = \frac{f(xB)}{|h_n|^2}$  으로 정의한다.

<47> 단계 2 :  $R = \sum_{n=1}^{N_s} c_n$  조건을 만족할 때까지 하기의 [수학식 3], [수학식 4], 및 [수학식 5]의 과정을 반복한다.

<48>  $\hat{n} = \operatorname{argmin}_n P_n$   
 【수학식 3】

<49>  $c_{\hat{n}} = c_{\hat{n}} + \Delta B$   
 【수학식 4】

<50>  $\Delta P_{\hat{n}} = \frac{f(c_{\hat{n}} + \Delta B) - f(c_{\hat{n}})}{|h_{\hat{n}}|^2}$   
 【수학식 5】

<51> 상기 [수학식 4] 및 [수학식 5]에서,  $x^B$ 는 D 집합의 원소들 사이의 편차를 말한다. 위의 예에서  $D=\{0, 2, 4, 6, \dots\}$ 이고, 따라서  $x^B=2$ 가 된다.

&lt;52&gt;

단계 3 : 위 [단계 2]가 끝나면, 각각의  $c_n$  을 결정할 수 있고, 상기 [수학식 1]을 이용하여  $P_n$  을 결정할 수 있다.

&lt;53&gt;

결국, 그리디 알고리즘을 통해 각각의 부반송파에 할당되는 비트( $c_n$ )와 송신 전력( $P_n$ )을 알 수 있게 된다.

&lt;54&gt;

상기 V-BLAST 검파방법은 여러 개의 송신안테나로부터 전송된 데이터를 하나씩 차례대로 복원하고, 이미 복원된 심벌은 다른 신호들에 미치는 간섭의 영향을 줄이기 위해서 제거하고, 채널에서도 역시 그 송신안테나에 해당하는 채널 영향을 널링시킨 후에 다음 심벌을 복원하는 방법으로 검파하는 방법이다. 따라서, 어떤 순서에 의해 널링하느냐에 따라 등가 채널 이득의 크기가 달라지게 되는데, 본 발명에서는 송신측에서 기존의 V-BLAST 검파 순서의 역순으로 적용 변조하여, 성능 이득을 얻을 수 있는 방법을 제공하고자 한다. 이하에서는 먼저 V-BLAST 검파 방법에 대하여 설명한 후에 본 발명의 방법에 대하여 상세히 설명한다.

&lt;55&gt;

도 1 은 일반적인 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템의 구성도이다.

&lt;56&gt;

도 1에 도시된 바와 같이, V-BLAST 구조의 검파기를 갖는 MIMO 시스템에 있어서, 각 송신안테나(13A, 13B...13N)에서 송신되는 신호 벡터  $x=[x_0, x_1, \dots, x_{M-1}]^T$  와 각 수신안테나(15A, 15B...15M)에 해당하는 수신 신호 벡터  $y=[y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$  를 정의한다. 여기서, M과 N은 각각 송신, 수신안테나의 개수를 나타내고,  $NEM$  의 조건을 만족해야 한다. 이때, 수신 신호 벡터는 하기의 [수학식 6]으로 표현된다.

<57>  $\mathbf{y} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{v}$   
 【수학식 6】

<58> 상기 [수학식 6]에서  $\mathbf{H}$ 는  $M \times N$  채널행렬, 채널행렬( $\mathbf{H}$ )의  $n$ 번째 행,  $m$ 번째 열의 원소,  $h_{n,m}$ 는  $m$ 번째 송신안테나와  $n$ 번째 수신안테나 사이의 평탄 페이딩 채널(flat fading channel) 값을 각각 나타낸다. 한편,  $\mathbf{v}$ 는 평균이 0이고,  $E[\mathbf{v}\mathbf{v}^H] = \sigma^2 \mathbf{I}$ 의 공분산 행렬을 갖는  $N \times 1$ 의 백색 잡음 벡터(White Noise Vector)이며,  $\mathbf{I}$ 는  $N \times N$  단위 행렬이다.

<59>  $\mathbf{y}$ (수신신호벡터)로부터  $\mathbf{x}$ (송신신호벡터)를 복원하기 위해서, V-BLAST 검파 방법을 사용하고, 널링 벡터는 제로 포싱(Zero-Forcing)방법으로 결정하는 경우,  $k$ 번째 계층( $k$ 번째 송신안테나의 신호)에 대한 널링 벡터는 하기의 [수학식 7]과 같이 정의된다.

<60>  $\mathbf{w}_k^T (\mathbf{H})_l = \delta_{kl} = \begin{cases} 1, & k=l \\ 0, & k \neq l \end{cases}$   
 【수학식 7】

<61> 상기 [수학식 7]에서,  $(\mathbf{H})_l$ 는 행렬  $\mathbf{H}$ 의  $l$ 번째 열이고,  $\mathbf{w}_k^T$ 는 채널 행렬의 가역행렬(Pseudo-Inverse Matrix)  $\mathbf{H}^+$ 의  $k$ 번째 행이다.  $\mathbf{w}_k$ 의 값을 판단하여 검파 순서를 결정하는데, 종래기술의 V-BLAST 검파 방법에서는  $\|\mathbf{w}_k\|$ 이 작은 것부터 검파하는 순서를 따랐다. 한편,  $z_k$ 는  $k$ 번째 계층에 대한 결정 통계량(Decision Statistic)이며, 하기의 [수학식 8]로 표현된다.

<62>  $z_k = x_k + \mathbf{w}_k^T \mathbf{v}$   
 【수학식 8】

&lt;63&gt;

상기 [수학식 8]에서,  $k=\{1, 2, \dots, M\}$ 이다. 상기 결정 통계량( $z_k$ )을 가지고 신호 결정을 한 이후에는 채널행렬  $H$ 와 수신 신호 벡터  $y$ 에서 결정된 신호의 영향을 제거한다. 즉, 기존의  $H$ 에서  $k$ 번째 열을 모두 0으로 만들어 새로운 채널행렬  $H$ 를 생성한다. 한편, 새로운 수신 신호 벡터  $y'$ 은 상기 [수학식 6]에 따라 결정한다.

&lt;64&gt;

【수학식 9】 
$$y' = y - (H)_k \hat{x}_k$$

&lt;65&gt;

상기 [수학식 9]에서,  $\hat{x}_k$ 는  $z_k$ 의 결정 결과이다. 상기 새로운 채널행렬  $H$ 와 수신 신호 벡터  $y'$ 을 이용하여 널링 벡터를 구하는 과정에서부터 모든 송신 신호를 검파할 때까지 상기 [수학식 6] 내지 [수학식 9]의 과정을 반복하게 되는데, 이 과정이 종래기술에 의한 V-BLAST의 검파 과정이다. 검파 순서는 널링 벡터의 놈(Norm)의 크기에 따라 결정된다.

&lt;66&gt;

결정 통계량의 신호대 잡음비  $\rho_k$ 를 구하기 위해 상기 [수학식 7]을 이용하면, 하기의 [수학식 10]과 같이 표현할 수 있다.

&lt;67&gt;

【수학식 10】 
$$\rho_k = \frac{E\{|x_k|^2\}}{\sigma^2 \|w_k\|^2}$$

&lt;68&gt;

상기 [수학식 10]에서,  $E\{\}$ 는 기대치(Expectation Value) 함수이고,  $\|w_k\|^{-2}$ 는 등가 채널 이득(Equivalent Channel Gain)이다. 따라서,  $\|w_k\|$ 이 작을수록 채널의 상태가 좋다고 할 수 있다. 고정 변복조 방법을 사용하는 MIMO 시스템을 위한 V-BLAST 방법은 채널 상태가 좋은 계층을 우선 검파하고, 채널 상태가 나쁜 계층은 이미 검파가 끝난 신호의 영향을 제거한 후에 검파하여 모든 계층이 전체적으로 좋은 성능 나타내도록 하는 방법이다. 그러나, 적응 변복조 방법에서는 상기 고정 변복조 방법과는 달리 좋은 계층을 나중에 검파하여 성능을 더욱 좋게 하고, 나쁜 계층에 대해서는 정보를 전송하지 않거나 적은 양의 정보만은 전송하여 성능 향상을 시키는 방법이다. 따라서, 적응 변복조 방법에 있어서는 본 발명에서 제시하는 바와 같이 기존의 V-BLAST와 같은 검파 순서의 역순으로 검파해야 성능을 향상시킬 수 있다.

&lt;69&gt;

우선, 도 5를 참조하여 본 발명에 따른 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 장치에 대해 살펴보기로 한다.

&lt;70&gt;

도 5에 도시된 바와 같이, 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 무선통신 시스템은 층적 공간-시간 구조에 기반한 적응 변조부(52), M 개의 송신안테나(53A, 53B~53M), 비트 및 전력 할당 정보 계산부(54), 주파수-비선택적 페이딩 MIMO 채널(55), N개의 수신안테나(56A, 56B~56N), 층적 공간-시간 구조에 기반한 검파 및 적응 복조부(57), MIMO 채널 추정부(58), 비트 할당 정보 계산부(59)로 구성되어 있다.

&lt;71&gt;

층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치를 살펴보면, 송신단에서는 수신단으로부터 피드백된 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정하기 위한 비트 및

전력 할당 정보 계산부(54)와, 비트 및 전력 할당 정보 계산부(54)에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보를 이용해 각 계층(송신안테나)별로 다른 변조 방법으로 변조하고 송신전력을 조절하여, 적응 변조된 신호를 각 송신안테나(53A~53M)를 통해 전송하는 층적 공간-시간 구조에 기반한 적응 변조부(52)를 포함하고, 수신단에서는 각 수신안테나(56A~56N)를 통해 각각 수신되는 신호로부터 MIMO 채널을 추정하기 위한 MIMO 채널 추정부(58)와, MIMO 채널 추정부(58)에서의 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 수신안테나(56A~56N)로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산부(59)와, 비트 및 전력 할당 정보 계산부(59)에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보와 MIMO 채널 정보를 바탕으로, 각 계층(수신안테나)별로 수신되는 신호의 수신전력을 조절하여 서로 다른 복조 방법으로 복조하기 위한 층적 공간-시간 구조에 기반한 검파 및 적응 복조부(57)를 포함한다.

<72> 본 발명에 따른 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치의 동작을 살펴보면 다음과 같다.

<73> 송신 데이터(51)는 송신단에서 전송하고자 하는 데이터로서, 스크램블링(Scrambling), 코딩(Coding), 인터리빙(Interleaving) 등이 된 데이터 등이며, 외부로부터 이러한 데이터를 입력받은 층적 공간-시간 구조에 기반한 적응 변조부(52)에서는 비트 및 전력 할당 정보를 이용하여 각 계층별로 다른 변조 방법으로 변조하고 송신 전력을 조절하는 기능을 한다.

<74> 그리고, 이렇게 적응 변조된 신호가 M개의 송신안테나(53A~53M)를 통해 전송되면, 비트 및 전력 할당 정보 계산부(54)는 수신단에서부터 피드백(Feedback)된 MIMO 채널 정보를 이용, 그리디 알고리즘을 통하여 각 송신안테나(53A~53M)로 전송될 비트 수와 송신전력을 결정한다.

- <75> 이렇게 M개의 송신안테나(53A~53M)에서 전송된 신호가 주파수-비선택적 페이딩 MIMO 채널(55)을 거쳐 N개의 수신안테나(56A~56N)에 수신된다. 그리고 층적 공간-시간 구조에 기반한 검파 및 적응 복조부(57)에서는 수신된 신호를 MIMO 채널 추정부(58)의 채널 추정 결과와 비트 할당 정보 계산부(59)의 비트 할당 정보를 이용하여 V-BLAST의 역순으로 복조하고, 복조된 데이터를 출력한다.
- <76> 도 2는 본 발명에 이용되는 층적 공간-시간 구조에서 널링 순서에 따라 등가 채널 이득이 변하는 것을 나타낸 일실시에 설명도이다.
- <77> 도 2에 도시된 바와 같이, 같은 채널 행렬을 이용한다고 할지라도 V-BLAST 순서, 임의의 순서, 그리고 V-BLAST 역순 중 어느 순서에 따라 검파하였느냐에 따라 등가 채널 이득이 달라지게 된다. 따라서, 상기와 같이 V-BLAST 순서를 사용하여 검파하는 경우에는 등가 채널 이득의 편차가 작아서 전체적으로 이득을 나누는 결과가 발생하고, V-BLAST의 역순으로 검파하는 경우에는 편차가 더욱 커지는 결과가 발생하게 된다.
- <78> 이하에서는 본 발명에 따른 V-BLAST 검파 방법의 역순으로 등가 채널 이득을 결정하는 방법을 상세히 설명한다.
- <79> 도 3은 본 발명에 따른 적응 변복조 방법 중 V-BLAST 역순으로 등가 채널 이득을 결정하는 과정에 대한 일실시에 상세 흐름도이다.
- <80> 도 3에 도시된 바와 같이, 등가 채널 이득을 결정하기 위해서는, 먼저 검파 순서를 결정해야 하므로, 안테나 인덱스 집합  $S(S=\{1,2,\dots,M\})$ 를 정의한다(31). 그리고  $M \times N$  채널행렬  $H$ 의 가역행렬을 계산한다(32). 그리고, 송신 신호 벡터  $x$ 를 구하기 위해, 모든  $k(k \in S)$  번째

계층( $k$ 번째 송신안테나의 신호)에 대한 널링벡터  $\mathbf{W}_k^T$ 를 구해야 하는데, 이는 상기 [수학식 7]에서 구할 수 있다(33).

<81> 이후, 널링할 계층을 결정하기 위해 널링 벡터의 놈의 제곱 값을 계산하고, 이중에서 가장 큰 값을 지닌  $\hat{k}$  계층을 선택한다(34). 그리고, 선택된  $\hat{k}$  계층에 해당하는 채널행렬  $\mathbf{H}$ 의 열벡터를 영벡터로 변형하고 집합  $S$ 에서  $\hat{k}$  값을 제거한다(35). 새롭게 변형된 집합  $S$ 와 채널행렬  $\mathbf{H}$ 에 대해서 위의 과정을  $M$ 번 반복한다.

<82> 이와 같이 선택된 계층 순서가 검파 순서가 되며, 선택된 계층에 대한 널링 벡터의 놈의 제곱 값의 역수가 등가 채널 이득이 된다. 이런 순서로 구한 등가 채널 이득을 상기 그리디 알고리즘의 부반송파 채널 이득  $|h_n|^2$ 를 대신하는 값으로 사용하여, 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트 수와 이에 해당하는 송신 전력을 계산할 수 있다.

<83> 도 4는 본 발명에 따른 적응 변복조 방법 중 그리디 알고리즘에 따라 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나에 대한 전송 비트 수와 송신 전력을 결정하는 과정에 대한 일실시예 상세 흐름도이다.

<84> 도 4에 도시된 바와 같이, 우선 각 계층(각 송신안테나)에서 전송할 비트 수를 모두 0으로 초기화한다(41). 그리고, 상기 [수학식 2]와 같이  $\Delta B$  값을 정의하고, 각 계층의 등가 채널 이득을 이용하여 각 계층에서 추가적인  $\Delta B$  비트 값을 원하는 비트 오류 확률로 얻기 위한 송신 전력을 계산한다. 이중에서 가장 작은 전력을 필요로 하는 계층에  $\Delta B$  값을 싣는다. 상기의 과정을 시스템에서 정해 놓은 총 비트 수를 할당할 때까지 수행한다. 각 계층을 통해 송신할 비트 수가 결정되면, 상기 [수학식 1]을 통해 각 계층의 송신 전력을 계산할 수 있다.



- <85> 도 6 은 본 발명의 실시예에 따라 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 (MIMO) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 방식의 성능을 나타낸 설명도로서, 본 발명에 따른 방법과 종래 기술에 따른 방법의 성능을 알아보기 위해서 기존의 방법들과 비교하는 성능 모의 실험을 수행한 결과를 보여준다.
- <86> 모의 실험에서 송신안테나와 수신안테나의 개수는 각각 4개로 하고, 각 송수신안테나에 해당하는 채널은 영 평균을 갖는 복소 가우시안 확률 변수(Complex Gaussian Random Variable)로 하였다. 그리고, 특정 채널행렬의 영향으로 성능이 제한되는 것을 막기 위해서, 1000번 이상의 통계적 채널을 생성하여 모의 실험을 수행하였다. 그리고, 모든 송신안테나에서 일정 시간 간격 동안 전송되는 R(정보 비트의 수)은 8로 고정하였다. 변조 방법은 QPSK와 16-QAM을 사용하였고,  $D=\{0, 2, 4\}$ 이므로,  $\times B$ 은 2이다.
- <87> 적응 변조 MIMO 시스템에서 최적해라고 알려진 특이치 분해(SVD : Singular Value Decomposition)를 이용하여 그리디 알고리즘을 적용한 방법을 라레이(G. G. Raleigh) 등이 "Spatio-Temporal Coding for Wireless Communications, Proc. IEEE Globecom, Nov, 1996, pp. 1809~1814"에서 제안하였는데, 이것은 구조가 매우 복잡하여 실제 구현이 거의 불가능하다는 문제점이 있다. 그래서, 본 모의 실험에서는 이 방법에 의한 성능을 시스템 성능의 하향 경계(Lower Bound)로 이용하였다.
- <88> 도 6에서 SVD는 라레이가 제안한 특이치 분해를 이용한 방법에 따른 결과이고, BLAST는 카-와이 제안한 V-BLAST 검파 방법의 순서를, BLAST(임의순서)는 각각 임의 순서로 등가 채널 이득을 결정하는 방법에 따른 결과를 나타낸다. BLAST(본 발명)가 본 발명에서 제안한 V-BLAST 검파 방법의 역순에 따라 등가 채널 이득을 결정하는 방법에 의한 결과이다.

- <89> 도 6에 도시한 바와 같이, 본 발명에 의한 방법은 카-와이의 방법보다는 0.7dB 정도의 성능이득을 갖고, 최적해라고 할 수 있는 라레이의 특이치 분해 방법보다는 약 1dB 정도의 성능열화가 있다.
- <90> 도 7 은 본 발명에 따른 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 장치를 나타낸 일실시에 구성도이다.
- <91> 도 7에 도시한 바와 같이, 본 발명에 따른 적응 변조 MIMO 시스템은 MIMO OFDM 시스템으로 확장할 수 있다. 이는 MIMO 시스템에서의 채널행렬  $H$ 는 MIMO-OFDM 시스템에서의 송신부와 수신부의 각 부반송파 간의 채널행렬과 대응이 되기 때문이다. 상기 MIMO OFDM에 적용할 수 있는 방법에는 다음과 같이 두가지가 있다.
- <92> 첫 번째 방법은, 모든 부반송파( $N_c$ )와 모든 계층( $M$ )에 대하여 적응 변조를 적용하는 방법이다. 우선, 각 부반송파 별로 각각의 송신안테나 계층에 대하여 등가 채널 이득을 구한다. 그리고, 상기 도 3에 도시된 방법에 따라 각 부반송파 별로 송신안테나 계층의 개수 만큼의 등가 채널 이득을 구한다. 그러면, 모든 부반송파에 대해 부반송파의 수( $N_c$ )  $\times$  송신안테나 계층의 수( $M$ ) 만큼의 등가 채널 이득을 얻을 수 있다. 이렇게 얻은  $N_c \times M$ 개의 등가 채널 이득들을 가지고 상기 도 4에 기재된 그리디 알고리즘에 따라  $N_c \times R$ 개의 정보 비트와 송신 전력을 할당하는 방법이다.
- <93> 따라서, MIMO-OFDM 송신부에 총 데이터율(data rate)이 정해져 있을때, 총  $N_c \times M$ 개의 등가 채널에 데이터율을 할당하기 위해서는 상기 도 4에 도시된 그리디 알고리즘을 통해  $N_c \times M$ 개의 등가 채널 이득을 이용하여 결정할 수 있게 된다. 이 때, 도 4의  $M$ 값은  $N_c \times M$ 이 된다.

그러나, 상기 방법의 경우 그리디 알고리즘에서 비교 대상 및 반복 횟수가 늘어나 시스템을 구현할 때 매우 복잡해지는 단점이 있다.

<94> 두 번째 방법은, 부반송파 별로 각각 적응 변조를 하는 방법이다. 즉, MIMO OFDM 시스템에 총 데이터율이 정해져 있고, 각 부반송파 별로 할당되어 있는 데이터율이 모두 동일하다면, 각각의 부반송파별로 등가 채널 이득을 구하여 데이터율을 할당해야 한다. 이 경우 등가 채널 이득은 각 부반송파 별로 총  $M$ 개가 되며,  $M$ 개의 부반송파 별로 상기 도 4에 도시된 그리디 알고리즘을 이용하여 데이터율을 할당한다. 그러므로, 전체적으로  $N$ 번의 그리디 알고리즘을 수행하지만, 비교하는 개수가  $M$ 개이고, 반복 횟수도 줄게 된다. 이러한 방법은 상기 첫 번째 방법에 비하여 간단하게 구현될 수 있다는 장점은 있으나, 상기 첫 번째 방법보다는 성능이 저하되는 단점이 있다.

<95> 비트 및 전력 할당 정보 계산부(73)는 MIMO 채널 추정부(82)에서 전송한 각 부반송파에 대한 채널행렬  $H$ 를 사용하여 데이터율을 할당하고, 할당된 데이터율과 각 부반송파에 대한 등가 채널 이득을 이용하여 각 부반송파에 대한 각 송신안테나(76A~76M)에서의 전력을 할당한다.

<96> 층적공간-시간 구조에 기반한 적응변조부(72)는 비트 및 전력 할당 정보 계산부(73)에서 각 부반송파 별로 각 송신안테나(76A~76M)에 할당된 비트와 전력을 이용하여 실제 전송을 하기 위한 변조 작업을 수행한다.

<97> MIMO OFDM에서 수신된 신호를 복조하기 위해서는 각 부반송파별 채널행렬과 송신부에서 적응 변조를 통해 각 부반송파 별로 각 안테나를 통해 전송된 비트와

전력을 알아야 한다. 따라서, 수신측에 존재하는 MIMO 채널 추정부(82)는 각 부반송파 별로 채널행렬  $H$ 를 추정하고, 비트 할당 정보 계산부(83)는 상기 채널행렬을 이용하여 송신측에서 행한 등가 채널 이득을 구하는 과정 및 그리디 알고리즘에 의해 각 부반송파 별로 각 수신안테나(80A~80N)에 할당된 비트 및 전력을 구하는 과정을 수행한다.

<98> 그리고, 공간-시간 구조에 기반한 검파 및 적응 복조부(81)에서는 계산된 비트와 전력 정보를 이용하여 전송된 신호를 복조한다.

<99> 도 8 은 본 발명에 실시예에 따라 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 무선통신 시스템에서의 적응 변복조 방식의 성능을 나타낸 설명도이다.

<100> 도 8에 도시된 바와 같이, 모의 실험 결과는 상기 도 6에 도시된 단일 반송파 MIMO 시스템에서 실험한 결과가 대체로 유지되는 것을 확인할 수 있다. 본 모의 실험 결과는, 모든 부반송파와 계층에 대하여 그리디 알고리즘을 적용하여 적응 변조하는 방법으로 실험한 결과를 도시한 것이다. 본 모의 실험에서 송수신안테나는 각각 4개이고, OFDM에서 전체 부반송파의 개수는 64이며, 순환 전치(CP : Cyclic Prefix)의 개수는 16로 하였다. 그리고, 8 탭을 갖는 지수적으로 감소하는 준정적 페이딩 채널(Exponentially Decaying Quasi-Static Fading Channel)을 사용하였다.

<101> 상술한 바와 같은 본 발명의 방법은 프로그램으로 구현되어 컴퓨터로 읽을 수 있는 형태로 기록매체(씨디롬, 램, 롬, 플로피 디스크, 하드 디스크, 광자기 디스크 등)에 저장될 수 있다. 이러한 과정은 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있으므로 더 이상 상세히 설명하지 않기로 한다.

<102>       이상에서 설명한 본 발명은 전술한 실시예 및 첨부된 도면에 의해 한정되는 것이 아니고, 본 발명의 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 변형 및 변경이 가능하다는 것이 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 있어 명백할 것이다.

**【발명의 효과】**

<103>       상기와 같은 본 발명은, 기존의 V-BLSAT 검파 방법의 역순으로 적응 변복조함으로써, 같은 비트 에러율(BER : Bit Error Rate)이 요구되는 시스템에서 기존의 V-BLSAT 검파 순서로 변조하는 방법보다 같은 구현 복잡도를 가지면서도 더 향상된 성능( $E_b/N_0$ , 대략 0.7~1.4dB 정도의 성능 이득)을 제공할 수 있고, MIMO-OFDM 시스템과 같은 다중 반송파 시스템에도 쉽게 확장 가능한 효과가 있다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변조 장치에 있어서,

수신단으로부터 피드백된 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산수단; 및

상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보를 이용해 각 계층(송신안테나)별로 다른 변조 방법으로 변조하고 송신전력을 조절하여, 적응 변조된 신호를 각 송신안테나를 통해 전송하는 적응 변조수단

을 포함하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변조 장치.

**【청구항 2】**

제 1 항에 있어서,

상기 수신단에서는,

V-BLAST 역순서로 검파 및 복조하는 것을 특징으로 하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변조 장치.

**【청구항 3】**

제 1 항에 있어서,

상기 수신단에서는,

상기 MIMO 채널 정보를 귀환시키는 대신에, 변조 방식이나 송신전력과 같은 적응 변조 정보를 전달하는 것을 특징으로 하는 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변조 장치.

**【청구항 4】**

제 1 항 내지 제 3 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단은,

V-BLAST 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 가지고 그리디 알고리즘의 부반송파 채널 이득을 대신하는 값으로 이용하여 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트의 수와 이에 해당하는 송신전력을 계산하는 것을 특징으로 하는 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변조 장치.

**【청구항 5】**

송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 복조 장치에 있어서,

각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 MIMO 채널을 추정하기 위한 MIMO 채널 추정수단;

상기 MIMO 채널 추정수단에서의 MIMO 채널 정보를 바탕으로 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용하여 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하기 위한 비트 및 전력 할당 정보 계산수단; 및

상기 비트 및 전력 할당 정보 계산수단에서 결정된 비트 및 전력 할당 정보와 상기 MIMO 채널 정보를 바탕으로, 각 계층(수신안테나)별로 수신되는 신호의 수신전력을 조절하여 서로 다른 복조 방법으로 복조하기 위한 적응 변조수단

을 포함하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 복조 장치.

#### 【청구항 6】

송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변복조 장치에 있어서,

V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하고, 등가 채널 이득을 이용해 각 송신안테나로 전송될 비트수와 송신전력을 결정한 후, 적응 변조하여 송신하기 위한 적응 변조수단; 및

각 수신안테나를 통해 수신되는 신호를 V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 검파 및 적응 복조하기 위한 적응 복조수단



을 포함하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치.

【청구항 7】

제 6 항에 있어서,

상기 적응 복조수단은,

MIMO 채널 정보를 상기 적응 변조수단으로 귀환시키거나, MIMO 채널 정보 대신 변조 방식이나 송신전력과 같은 적응 변조 정보를 전달하는 것을 특징으로 하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치.

【청구항 8】

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 적응 변복조 장치는,

층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(MIMO-OFDM) 시스템에서, 각 부반송파에서 (부반송파의 수)×(송신안테나의 수) 개의 등가 이득을 가지고, 전체적으로 각 송신안테나에서 전송할 비트 수와 송신전력을 결정하는 것을 특징으로 하는 층적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치.

【청구항 9】

제 6 항 또는 제 7 항에 있어서,

상기 적응 변복조 장치는,

총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 시스템에서, 각 부반송파별로 따로 각 송신안테나에서 전송할 비트 수와 송신전력을 결정하여 부반송파별로 독립적으로 검파 및 복조하는 것을 특징으로 하는 총적 공간-시간 구조의 검파기를 갖는 다중 입출력 시스템에 적용되는 적응 변복조 장치.

【청구항 10】

송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 변조 방법에 있어서,

수신단으로부터 피드백된 정보를 바탕으로, 송신단에서 V-BLAST 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 1 단계; 및

상기 송신단에서 상기 등가 채널 이득을 가지고 그리디 알고리즘의 부반송파 채널 이득을 대신하는 값으로 이용하여, 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트의 수와 이에 해당하는 송신전력을 결정해 적응 변조하는 제 2 단계

를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 11】

제 10 항에 있어서,

상기 수신단에서는,

V-BLAST 역순서로 검파 및 복조하는 것을 특징으로 하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 12】

제 10 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 제 1 단계는,

안테나 인덱스 집합을 초기화하는 제 3 단계;

등가 채널 이득이 작은 계층부터 널링하고, 그 결과로 채널행렬 및 상기 안테나 인덱스 집합을 수정하는 제 4 단계;

안테나의 수 만큼 상기 제 4 단계를 반복 수행하는 제 5 단계; 및

상기 제 5 단계의 결과를 통해 각 안테나 계층의 등가 채널 이득을 결정하는 제 6 단계를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 13】

제 12 항에 있어서,

상기 제 4 단계는,

채널행렬의 가역행렬을 계산하는 제 7 단계;

널링할 계층을 결정하기 위해 널링벡터의 놈의 제공한 값을 계산하는 제 8 단계;

상기 제 8 단계의 값 중 가장 큰값을 가지는 계층을 선택하는 제 9 단계; 및

상기 제 9 단계에서 선택된 계층을 널링하고, 상기 안테나 인덱스 집합에서 선택된 계층을 제거하는 제 10 단계를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 14】

제 10 항 또는 제 11 항에 있어서,  
상기 제 1 단계는,  
안테나 인덱스 집합을 초기화하는 제 3 단계;  
등가 채널 이득이 작은 계층부터 널링하고, 그 결과로 채널행렬 및 상기 안테나 인덱스 집합을 수정하는 제 4 단계;  
안테나의 수 만큼 상기 제 4 단계를 반복 수행하는 제 5 단계;  
상기 제 5 단계의 결과를 통해 각 안테나 계층의 등가 채널 이득을 결정하는 제 6 단계;  
및  
각각의 부반송파에 대하여 상기 제 1 단계로부터 상기 제 4 단계까지의 과정을 반복 수행하여, 등가 채널 이득을 결정하는 제 7 단계를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 15】

제 14 항에 있어서,  
상기 제 2 단계는,

상기 제 7 단계에서 결정된 등가 채널 이득으로부터 그리디 알고리즘을 수행하여 각 부반송파에 대하여 각 안테나를 통해 전송될 비트 수와 송신 전력을 결정하는 것을 특징으로 하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

【청구항 16】

제 10 항 또는 제 11 항에 있어서,

상기 제 1 단계는,

다중 입출력 직교 주파수 분할 다중화(MIMO-OFDM) 시스템에서, 시스템의 총 데이터율 (date rate)이 정해져 있고, 각 부반송파별로 할당되어 있는 데이터 율이 동일하게 지정된 경우,

하나의 부반송파에 대하여, 안테나 인덱스 집합을 초기화하는 제 3 단계;

상기 하나의 부반송파에 대하여, 등가 채널 이득이 작은 계층부터 널링하고, 그 결과로 채널행렬 및 상기 안테나 인덱스 집합을 수정하는 제 4 단계;

상기 하나의 부반송파에 대하여, 안테나의 수 만큼 상기 제 4 단계를 반복 수행하는 제 5 단계; 및

상기 하나의 부반송파에 대하여, 상기 제 5 단계의 결과를 통해 각 안테나 계층의 등가 채널 이득을 결정하는 제 6 단계

를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

**【청구항 17】**

제 16 항에 있어서,

상기 제 2 단계는,

상기 제 6 단계에서 상기 하나의 반송파에 대하여 결정된 등가 채널 이득으로부터 그리디 알고리즘을 수행하여, 상기 하나의 반송파에 대하여 안테나를 통해 전송될 비트 수와 송신 전력을 결정하는 제 7 단계;

다른 모든 부반송파에 대하여도 상기 제 7 단계의 결과와 동일하게 송신될 비트 수와 송신될 전력을 결정하는 제 8 단계

를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 변조 방법.

**【청구항 18】**

송수신단에 각각 다중 안테나를 사용하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에서의 적응 복조 방법에 있어서,

각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 채널을 추정하는 제 1 단계;

상기 채널 정보를 바탕으로, V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 2 단계; 및

상기 등가 채널 이득을 이용해 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하여, 검파 및 적응 복조하는 제 3 단계

를 포함하는 다중 입출력(MIMO) 시스템에 적용되는 적응 복조 방법.

**【청구항 19】**

적응 변조를 위하여, 프로세서를 구비한 다중 입출력(MIMO) 시스템에,

수신단으로부터 피드백된 정보를 바탕으로, 송신단에서 V-BLAST 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 1 기능; 및

상기 송신단에서 상기 등가 채널 이득을 가지고 그리디 알고리즘의 부반송파 채널 이득을 대신하는 값으로 이용하여, 각 계층(송신안테나)에서 전송할 정보 비트의 수와 이에 해당하는 송신전력을 결정해 적응 변조하는 제 2 기능

을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

**【청구항 20】**

적응 복조를 위하여, 프로세서를 구비한 다중 입출력(MIMO) 시스템에,

각 수신안테나를 통해 각각 수신되는 신호로부터 채널을 추정하는 제 1 기능;

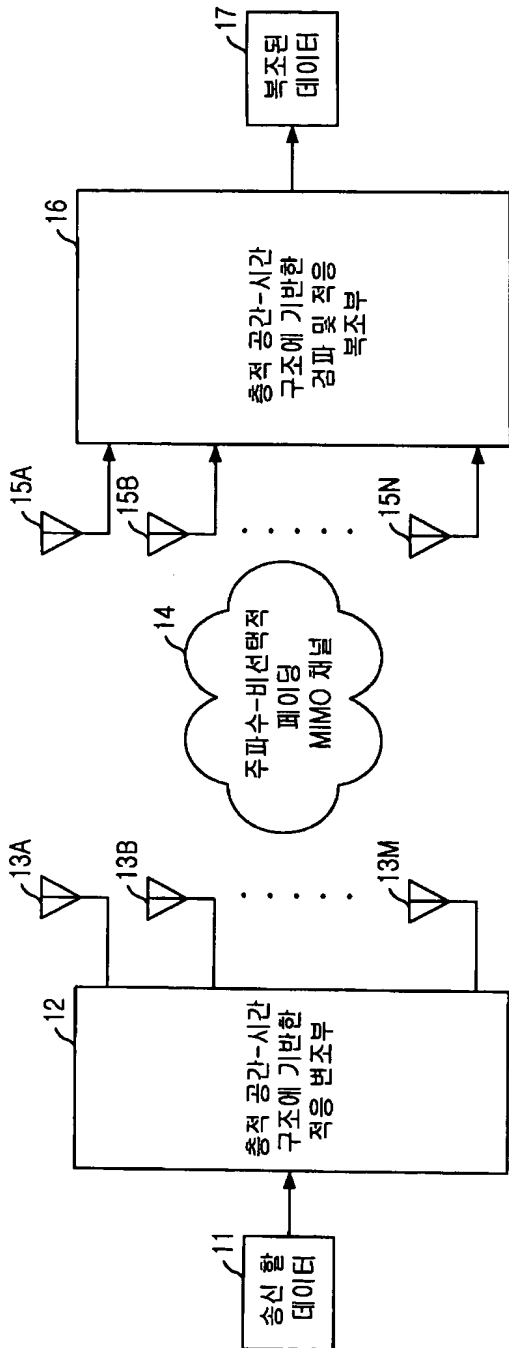
상기 채널 정보를 바탕으로, V-BLAST(Vertical-Bell Laboratories Space Time)의 역순서로 등가 채널 이득을 결정하는 제 2 기능; 및

상기 등가 채널 이득을 이용해 각 수신안테나로 수신된 비트수와 수신전력을 결정하여, 검파 및 적응 복조하는 제 3 기능

을 실현시키기 위한 프로그램을 기록한 컴퓨터로 읽을 수 있는 기록매체.

【도면】

【도 1】





【도 2】

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1.2 & 0.5 & 1.5 \\ 1.5 & 1.0 & 0.4 \\ 1.3 & 0.2 & 1.2 \end{bmatrix}$$

V-BLAST 순서

	1 계층	2 계층	3 계층
$\ w_k\ ^2$	4.789	7.941	<b>2.163</b>
3 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	<b>0.941</b>	3.925	×
1 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	×	<b>0.775</b>	×
최종 등가 채널 이득			
$1/\ w_k\ ^2$	1.063	1.290	0.462

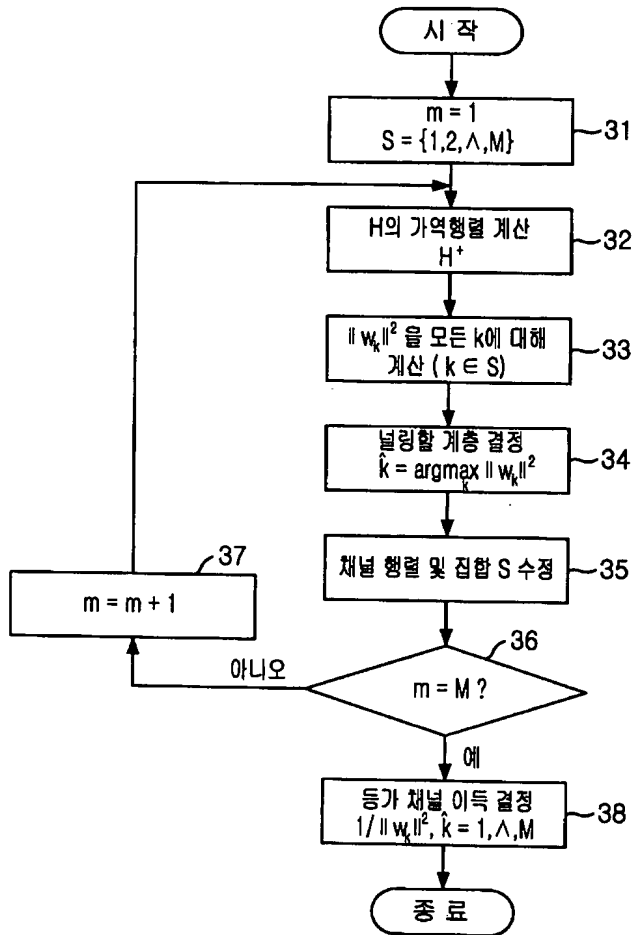
임의 순서

	1 계층	2 계층	3 계층
$\ w_k\ ^2$	<b>4.789</b>	7.941	2.163
1 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	×	<b>1.269</b>	0.425
2 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	×	×	<b>0.260</b>
최종 등가 채널 이득			
$1/\ w_k\ ^2$	0.209	0.788	3.846

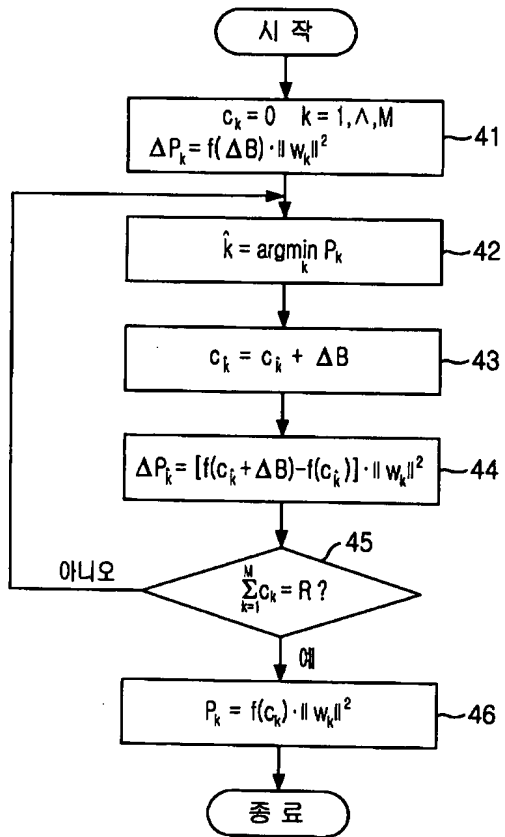
V-BLAST의 역순서

	1 계층	2 계층	3 계층
$\ w_k\ ^2$	4.789	<b>7.941</b>	2.163
2 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	0.765	×	<b>1.069</b>
3 계층 널링			
$\ w_k\ ^2$	<b>0.185</b>	×	×
최종 등가 채널 이득			
$1/\ w_k\ ^2$	5.405	0.126	0.935

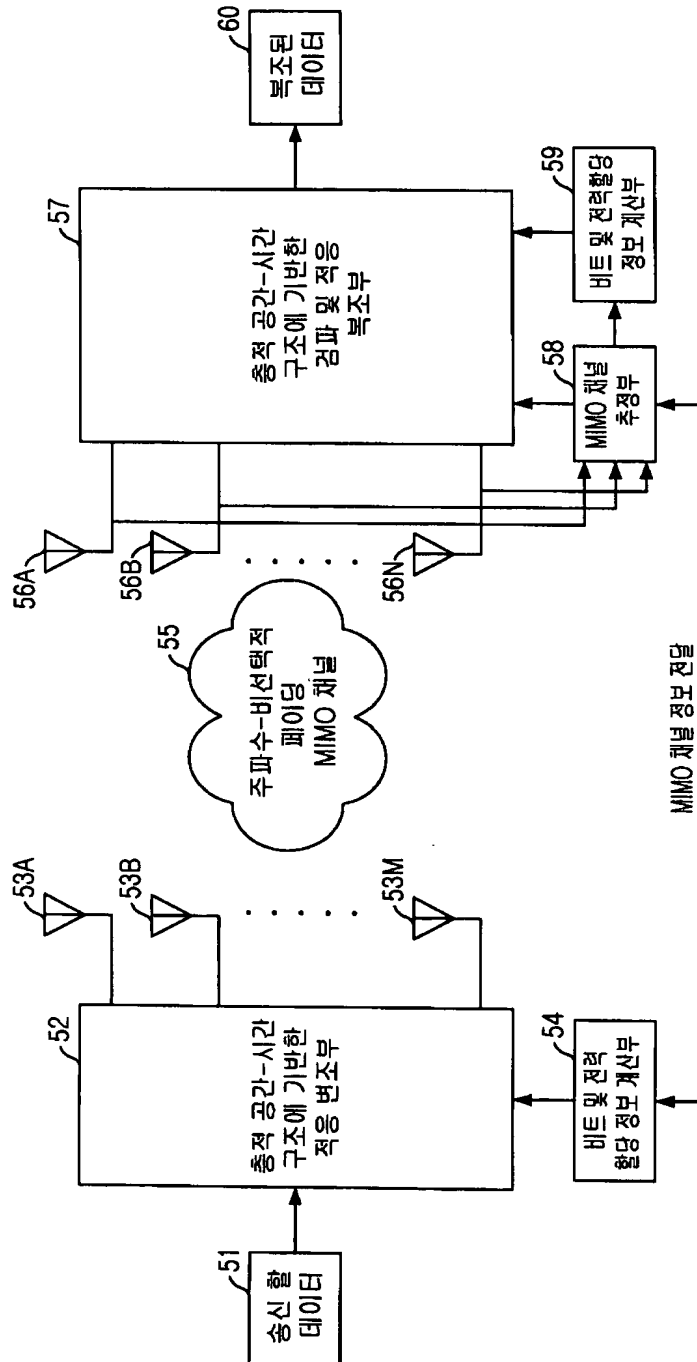
【도 3】



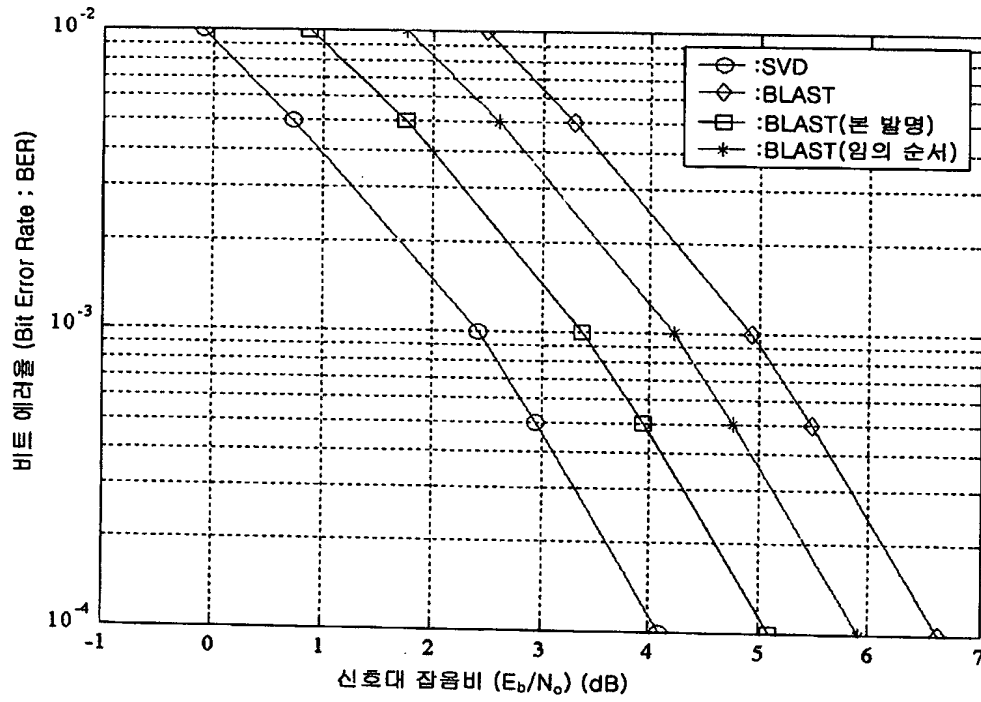
【도 4】



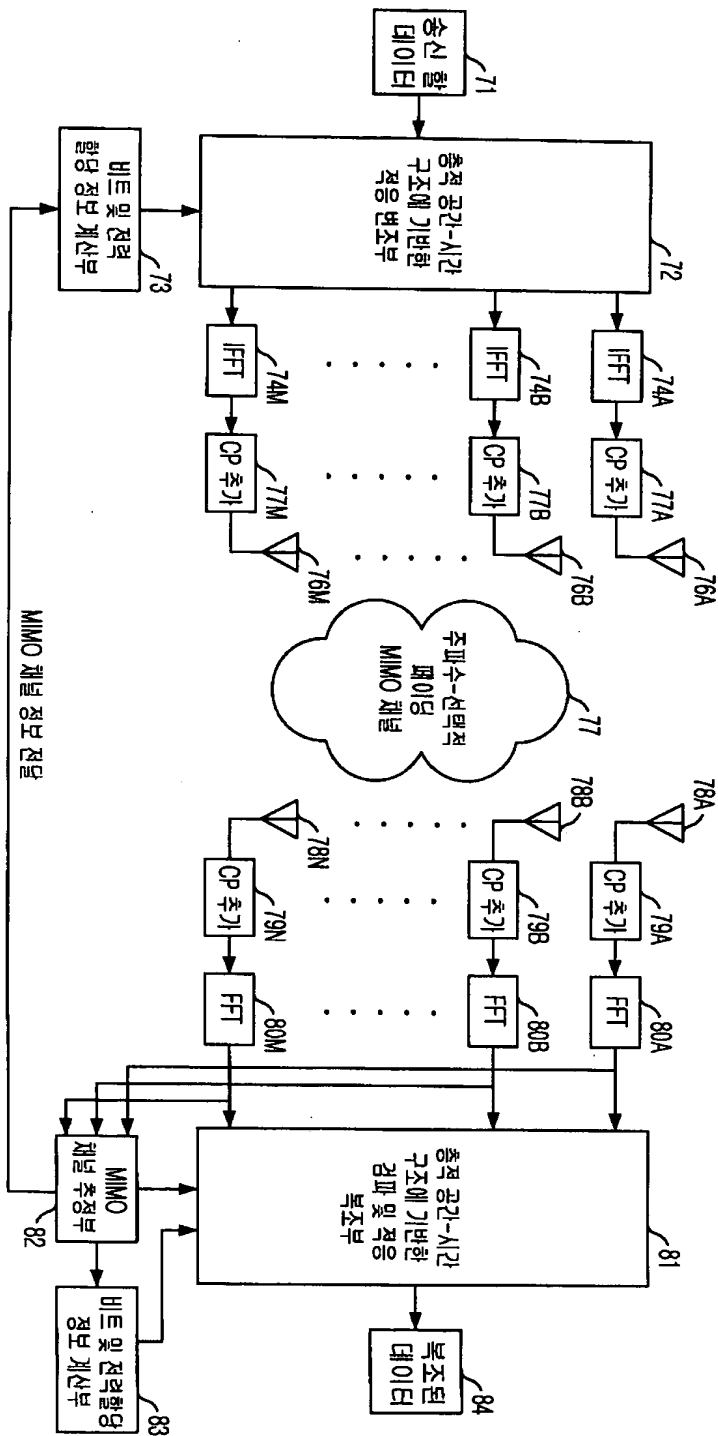
【도 5】



【도 6】



【도 7】



【도 8】

